الطاقة والايض

الطاقة هي القدرة على أنجاز عمل ولبقاء الكائن الحي بشكل حي يتطلب طاقة لإتمام أداء وظائفه الحيوية ويمكن للكائنات الحية ان تحصل على الطاقة بطريقتين

1- تحويل طاقة ضوء الشمس وهي المصدر الاساسي للطاقة على الأرض الى طاقة كيماوية بواسطة عمليات البناء الضوئي photosynthesis وتعرف الكائنات التي تقوم بهذه العملية كائنات ذاتية التغذية Autotroph.

تختلف الأحياء في تعاملها مع الطاقة، فالنباتات والطحالب الخضر والبكتريا المزرقة تقوم باستعمال الضوء لعملية التخليق الضوئي وانتاج الاوكسجين من الماء الذي يمثل الواهب للهيدروجين اللاعضوي –اما البكتريا الأرجوانية Purple bacteria فتحول الطاقة الضوئية الى طاقة ايضية ولكن دون انتاج الاوكسجين.

2- الاحياء الاخرى والتي تعتمد بشكل غير مباشر على الطاقة الضوئية فتحول الطاقة من المركبات عضوية اولاعضوية الى ATP وتعرف Hererotroph.

اما **التمثيل الغذائي او الايض (metabolism)** يشير الى مجموع التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الخلية اذ ترتبط عملية الأيض وبفعاليتين متداخلتين ومختلفيتين هما عملية البناء Anabolism وعملية الهدم **Catabolism**. بالنسبة لعملية البناء لا تتضمن فقط بناء مكونات الخلية الرئيسية(البروتينات ،الكاربوهيدرات ،الدهون ،الاحماض النووية وغيرها)بل تتضمن بناء مركباتها التمهيدية الوسطية Intermediate precursors مثل الاحماض الامينية والبيورين والبريميدين والاحماض الدهنية والسكريات المختلفة وفوسفات السكر و إن هذه العمليات لاتحدث بصورة تلقائية بل تحتاج الى طاقة ، اما عمليات الهدم فهي تجهز الطاقة لأغلب الاحياء المجهرية وأبسط مثال لعمليات الهدم هو تحلل الكاربوهيدرات الى 2CO وماء. بشكل فعلي يوجد نوعين من الكائنات الحية أحدهما يقوم بعمليات الأيض هوائي اAerobically باستخدام الاوكسجين والثاني يقوم بالأيض تحت الظروف غير الهوائية أي بغياب الاوكسجين. Anaerobically

إن تفاعل مركبات الكاربون المختزلة مع الاوكسجين لإعطاء 2CO وماء يكون مصحوبا بإطلاق حرارة أو طاقة كبيرة exothermic وبذلك يتمكن الكائن الهوائي من الموازنة بين استخدام كمية قليلة نسبيا من المادة الخاضعة substrate لعملية الهدم والحفاظ على مستوى معين من البناء أي النمو .لاتتناسب عمليات تحويل المادة الخاضعة في الكائنات اللاهوائية مع الانتاج الواطئ نسبيا من الطاقة لذا يجب هدم نسبة كبيرة من المادة الخاضعة للحفاظ على مستوى معين من النمو .يمكن ملاحظة الفرق بشكل أكثر وضوح ا في الكائنات اللاهوائية اختياري اFacultative anaerobic مثل خميرة الخبز *S. cerevisiae* اذ يمكنها العيش في كلا الظرفين اي تتمكن الخميرة في

الظروف الهوائية من انتاج 2CO وماء وانتاج عال نسبيا من الخلايا بينما في الظروف اللاهوائية يكون نموها اي انتاج الخلايا واطئ ا نسبيا يرافقه تحويل عال من السكر الى كحول الايثانول وغاز 2CO . ويوجد هناك نوعان من العمليات الايضية:

1- تفاعلات الهدم Catabolism : عملية تحطيم او تحلل المركبات المعقدة الغذائية الرئيسية سواء كانت كربوهيدرات أو بروتينات أو دهون خلال طرق مختلفة من التفاعلات الحيوية إلى مكونات بسيطة وينتج عن

ذلك الحصول على الطاقة وتعرف بتفاعلات Exergonic Reaction تحصل لغرض عمليات الحركة والنقل والعمليات البنائية.

2-تفاعلات البناء (Anabolism): عملية بناء مواد معقدة التركيب سواء كانت بروتينية أو أحماض نووية من خلال سلسلة من التفاعلات وباستعمال المركبات اوالجزيئات البسيطة الناتجة من عملية الهدم حيث يمكن استعمالها كنواة بناء وذلك لبناء الأنسجة والتراكيب الخلوية

وتستهلك هذه العملية الايضية طاقة وتعرف بتفاعلات Endergonic Reaction وتحتاج الكائنات الحية هذه العمليات لغرض عمليات النمو والتكاثر وإصلاح التراكيب الخلوية.

ان عمليات الايض عبارة عن حالة من التوازن بين تفاعلات الهدم (التحلل) و تفاعلات البناء ويمكن الحصول على الطاقة لهذه التفاعلات اما بشكل مباشر من خلال عملية هدم بعض المركبات الايضية او بصورة غيرمباشرة من بعض المركبات الكيميائية الخازنة للطاقة وتتمثل بمركب الطاقة (ATP) Adenosin Triphosphateبالاضافة الى ماتقدم يمكن للطاقة ان تتوافر من خلال انتقال الالكترونات e من بعض المركبات الى مركبات اخرى مثل مركب NAD Nicotinamid Adenine Dinucleotide اذ تنقل الطاقة بشكل الكترونات و يدعى هذا النوع من التفاعلات بالتفاعلات التأكسدية الاختزالية Redox Reactions وتتحرر الطاقة عندما تنتقل الالكترونات من مادة في حالة الاختزال تكون الى أخرى تكون في حالة متأكسدة، اذ ان الاكسدة تعن فقدان الالكترون اما الاختزال تعني اكتساب الكترون.

طرق حصول الكائن المجهري على الطاقة

تحصل الكائنات المجهرية على الطاقة من خلال:

1- التنفس الهوائي الخلوي بوجود الأوكسجين والتي تشمل: أ الفسفرة على مستوى المادة الأساس Substrate level phosphorylationب دورة- كر بٌس ج- السلسلة التنفسية

2-التنفس اللاهوائي والتخمر

التنفس الهوائي الخلوي Aerobic Respiration

يحٌصل الكائن المجهري على الطاقة بوجود الأوكسجين من خلال التنفس الهوائي الخلوي فقابليةٌ البكتريا على استهلاك أنواع من السكر أٌت توضح امتلاكها انز يمٌات تمكنها من اجراء التحلل للسكر أٌت مثل الكلكوز الذي تٌأكسد بوجود الأوكسجين كعامل مؤكسد نهائي(مستقبل)وهذه العملية تحصل ضمن سلسلة من الخطوات الايضية التًي تشمل المرحلة الأولى تحلل السكر Glycolysis و المرحلة الثانية دورة كربٌس Krebs cycle او تعرف أيضا (Tricarboxylic Acid Cycle) والمرحلة الثالثة سلسلة نقل الالكتروناتElectrons Transport Chain .

1- تحلل السكر: (glycolysis)

الكلمة مشتقة من الكلمة الاغريقية glyco بمعنى سكر اما lysis بمعنى انشطار او تحلل فهي تعني تحلل السكر وان Glycolysis هي عملية تحلل السكر وتكسره تحلل يتم فيها تحويل جزئية الكلوكوز(C 6) إلى جزيئتين من حامض البيروفيك، بواسطة- سلسلة من التفاعلات الانزيمية لغرض الحصول على طاقة وتحدث هذه العملية اما هوائيا او لا هوائيا ففي الظروف الهوائية ترتبط هذه الدورة مع دورة اخرى هي

الدورة التنفسية ثلاثية الكربوكسيل Tricarboxylic acid والتي تستطيع اكسدة البايروفيت الى CO_2 وماء .

اما تحت الظروف اللاهوائية فان البايروفيت يتحول الى حامض اللاكتيك lactic acid وايثانول ، تتم عملية تحلل السكر على مرحلتين والتي تتضمن المرحلة الاولى التي تسمى المرحلة التحضيرية والمرحلة الثانية مرحلة ربح الطاقة وتكون الطاقة على شكل ATP و NADH .

في تفاعلات التحلل السكري المتعاقبة توجد ثلاث انواع من التحولات الكيميائية- :

1-تكسير الهيكل الكاربوني للكلوكوز الى بايروفيت.

2-فسفرة ADP الى ال ATP بواسطة المركبات العالية الطاقة المتكونة اثناء التحلل السكري.

3-نقل ايون الهيدروجين الى ال NAD لتكوينNADH .

ويمكن تلخيص سلسلة التفاعلات الكلية لمسار التحلل السكري بما يلي وكما موضح في الشكل رقم (1):

1- تتم فسفرة الكلوكوز عند موقع ذرة الكربون رقم 6 (C6) وتعتمد الطريقة على نوع الكائن المجهري ففي البكتريا الهوائية ومنها بكتريا pseudomonas تمتلك انزيم hexokinase والذي يحتاج الى ايونات المغنيسيوم لتنشيطه ويستهلك جزيئة واحدة من ATP وهذه الخطوة في الدورة غير عكسية.

2- يتم تحويل G-6-p الى fructose -6-p وهذا التفاعل عكسي ولا يحتاج الى عامل مساعد .

3- تدخل مجموعة فوسفات ثانية على موقع ذرة الكاربون رقم (1) للفركتوز بفعل انزيم phosphatofructokinase (PFK) .

4- تحصل لجزيئة السكر السداسي عملية انشطار بفعل انزيم aldolase الى وحدتين كل منهما تمتلك ثلاث ذرات كربون ومجموعة فوسفات واحدة والمركبان هما glyceraldehyde- 3-p و dihydroxy aceton-3-p .

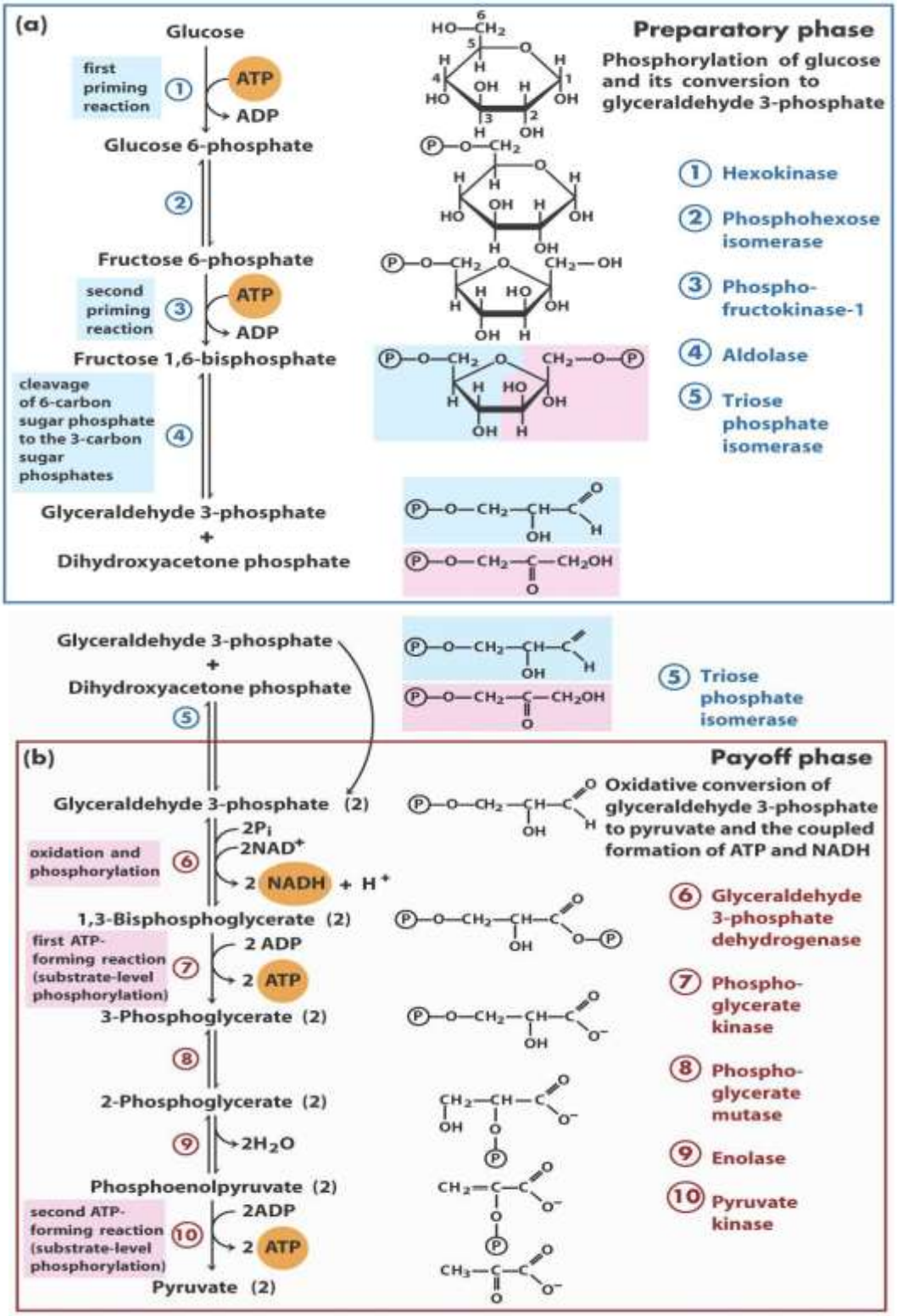
5-يعمل انزيم dehydrogenase وبمساعدة ال NAD ومجموعة الفسفور غير العضوي pi على اكسدة المركب glyceraldehyde-3-p الى 1-3-diphosphoglyceric acid

6- في هذه الخطوة يتم تحول الاصرة عالية الطاقة عند موقع 1 لذرة الكاربون للمركب 1-3-diphosphoglyceric acid الى ATP بفعل انزيم phosphoglycerate kinase وبمساعدة العامل المساعد Mg^{+2} تاركا مركب 3-p-glycerate كناتج نهائي.

7- يتحول 3-p-glycerate الى 2-p-glycerate بفعل انزيم mutase.

8- يزال الماء 2-p-glycerate متحولا الى phosphoenolpyruvate بفعل انزيم enolase والذي يحتاج الى عامل مساعد Mg^{+2} حيث ان عملية ازالة الماء تهدف الى تكوين اصرة عالية الطاقة تخزن في المركب phosphoenolpyruvate .

9- يعمل الانزيم pyruvate kinase على تحويل المركب phosphoenolpyruvate الى pyruvate مع تحرر جزيئة ATP وهذه هي الخطوة الثانية في العملية التي تحصل فيها على الطاقة وبذلك عملية التحلل السكري انتهت.



شكل رقم (1) خطوات التحلل السكري

دورة حامض ثلاثي الكاربوكسيل Tricarboxylic Acid Cycle (TCA)

يتم تمثيل للبايروفيت والمرافق الانزيمي Acetyl CoA عن طريق دورة تؤدي وظيفتين منفصلتين هما أنتاج مركبات وسطية تستخدم لاحق ا في التخليق الحيوي و أكسدة المركبات التي تؤدي في النهاية إلى إنتاج 2COوالماء والتي تقابل تفاعلات الأكسدة الخاصة بنقل الطاقة وتسمى هذه الدورة التي تقوم باكسدة المرافق الانزيمي Acetyl CoA والتي توجد في جميع الخلايا التي تعيش في ظروف هوائية دورة الحامض ثلاثي الكاربوكسيل أو دورة حامض الستريك أو دورة كريب.

التي تحصل في السايتوبلازم للبكتريا بوجود الأوكسجين حيث تجري سلسلة تفاعلات محفزة بالأنزيمات حيث يتم تحول البايروفيت الى Acetyl- COA بوجودكما في المعادلة الموضحة ادناه Coenzyme A فضلا عن انتاج CO_2 و NADH وبعدها تحصل سلسلة عمليات اكسدة واختزال للمركبات فينتج مجموعة نواتج حاملة للطاقة خلال الدورة 6جزيئات NADH مختزل وجزيئتين FADH2 وجزيئتين GTP وكما في الشكل (2)، ان دورة كريس لها تؤمن هياكل كاربونية لبناء العديد من المركبات كبعض الاحماض الامينية.

أن الطاقة التي تنتج من التحلل السكري ودورةكربس قليلة وان معظم الطاقة التي تنتج تكون من سلسلة نقل الالكترون بعملية الفسفرة التأكسدية.

من وظائف هذه الدورة هي:

1- إنتاج مركبات وسطية يمكن أن تستعمل في تخليق مركبات أخرى

Oxoglutarate glutamate protein

Glutamin Folic acid

Succinate porphyrins heams cytochroms

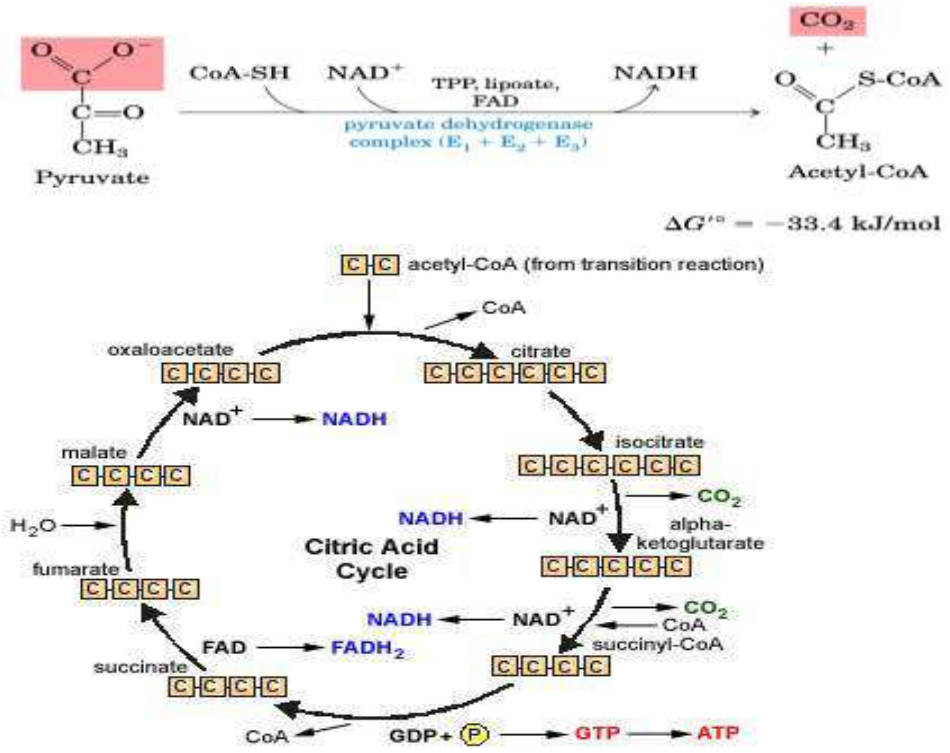
aspartate proteins Oxaloacetate

Lysine methionine therionine

تحتل التفاعلات التي تؤدي إلى إنتاج الاسبارتيت والكلوتاميت أهمية خاصة بكونها الطرق الرئيسية التي تتمكن الخلية بواسطتها تمثيل الامونيا.

- 2لاسترجاع الطاقة من تفاعلات الأكسدة حيث تحفز بمجموعة انزيمات الاكسدة المتعاقبة للمركبات الوسطية والمصحوبة بتحويل المرافق الانزيميNAD+ و FAD الى NADH و 2FADH على التوالي وتعاد اكسدتها الى صيغتها الاصلية بعملية الفسفرة المؤكسدة .

وقد لاحظنا ان هذه الدورة يجب ان تعطي ايضا مركبات وسطية تستعمل في عمليات التخليق الحيوي وعندما يزال اي من هذه المركبات الوسطية من الدورة فان عملية تخليقOxaloacetate تتوقف كما تتوقف عملية اعادة تحوير السترات.



شكل رقم(2) دورة كريبس

سلسلة نقل الالكترونات Electron transport chain

تعد المرحلة الأخيرة في عملية التنفس الخلوي لإنتاج الطاقة في الكائنات الهوائية Aerobic organism والتي تحدث دائما بعد التحلل السكري و(دورة حامض الستريك)وتمثل المرحلة الحاسمة الأهم والأكثر فعالية في التنفس الخلوي مقارنة بالمرحلتين السابقتين حيث يحصل مرور الهيدروجين والالكترونات العالية الطاقة والمحمولة على NADH , FADH2 كما في شكل ادناه

تحتوي الخلايا على كميات محدودة من ال NAD واذا مااختزلت جميع الكمية فلن يبقى NADox وبذلك تختل عملية الايض. ان السبيل المؤدي الى اكسدة ال NADred المتكون من خلال عمليتي تحلل الكلوكوز ودورة حامض ال TCA هو عن طريق سلسلة نقل الالكترونات .يتأكسد ال NADred والفلافينات بواسطة سلسلة نقل الالكترونات المرتبطة بالاغشية الخلوية .ففي الخلايا حقيقية النواة تقع هذه السلسلة في الاغشية الداخلية للمايتوكوندريا اما في البكتريا الهوائية فان موقع هذه السلسلة ينحصر في الغشاء السايتوبلازمي.

تتكون سلسلة نقل الالكترونات من عدد من الجزيئات الكبيرة مثل مجموعة السايتوكروم Cytochromes والفلافوبروتينات Flavoproteins وبروتينات الكبريت والحديد Iron Sulfer proteins وبعض الجزيئات الصغيرة مثل الكوينونات Quinones ويشترك كل واحد من هذه المركبات في تفاعل معين من تفاعلات الاكسدة والاختزال وان المركب الذي يعطي الالكترونات اكثر الى مركبات اخرى هو المركب الاقوى اختزالا والمركب الأقوى اختزالا هو الذي يحتوي على الكمية الاعلى من الطاقة .اذا فالتدرج الكهروكمياوي Electrochemical Gradient يبدأ من المركبات الاقوى اختزالا اي اعلى سالبية في

جهدها التاكسدي ضمن سلسلة نقل الالكترونات وتستمر العملية بالتعاقب حتى تصل الاوكسجين وهو المؤكسد القوي الذي يمتلك جهدا تاكسديا موجبا.

الفسفرة التأكسدية

وهي عملية ينتج من خلالها ATP مع اعادة تكوين ال NADox عن طريق سلسلة نقل الالكترونات وبأستخدام الاوكسجين عاملا نهائيا مستقبلا للالكترونات .ففي وجود الاوكسجين وعند تدخل مجموعة السايتوكروم وفي عملية الاكسدة تحدث ثلاث عمليات فسفرة على الاقل وان انتقال الالكترونات من ال NADred واستقرارها في الاوكسجين بوصفها خطوة نهائية ينتج لدينا ثلاث جزيئات من ATP لكل جزيئة من ال NADred وفي الخطوة الاخيرة من سلسلة التفاعل هذه يتأكسد السايتوكروم بواسطة الاوكسجين وينتج عن هذا التفاعل ماء وبروكسيد الهيدروجين H_2O_2 وبعض السوبراوكسيد-O2Superoxide وهذا جذر يتكون عندما يختزل الاوكسجين بواسطة الكترون واحد فقط .ونستطيع ان نلاحظ ان هذه المركبات تنتج من عملية تحلل الكلوكوز ودورة ال TCA وبكميات قليلة وتتحول الكميات القليلة من السوبر اوكسيد الى بيروكسيد الهدروجين بتدخل انزيم Dismutase Superoxide الذي يتحلل بدوره بواسطة انزيم ال Catalse الى الماء والاوكسجين وعلى العموم فأن معظم الخلايا الهوائية تحتوي على الكاتاليزالذي من خلاله تتخلص الخلية من بيروكسيد الهيدروجين العالي السمية.

الطاقة المنتجة من التنفس الهوائي

يمكن حساب الطاقة الناتجة من التحلل السكري ودورة ال TCA وسلسلة نقل الالكترونات بعملية حسابيةٍ بسيطة حيث نجد ان هناك ما مجموعه 38 جزيئة من ATP يمكن ان تتكون من خلال الاكسدة التامة لجزيئة واحدة من الكلكوز وكما موضح في الجدول ادناه

الموقع	نوع المركب	عدد المركبات	كمية الطاقة
التحلل السكري	ATP	2	2
	NADH	2	6
تحول البايروفيت الى Acetyl coA	NADH	2	6
دورة كر بس	GTP	2	2
	NADH	6	18
	FADH2	2	4
المجموع الكلي			38